

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Ю.Н.ЛОГИНОВ

**ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ В
ЮВЕЛИРНОМ ДЕЛЕ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Научный редактор канд.техн.наук доц. В.В.Шимов

Екатеринбург

1998

ББК 65.7
Л65
УДК 671.73

Рецензенты:

Кафедра декоративного искусства Уральской государственной
архитектурно-художественной академии;
канд.техн.наук ст.науч.сотр. Б.И.Каменецкий

Автор: Ю.Н.Логинов

Л65 Процессы обработки металлов давлением в ювелирном деле: Учебное
пособие / Ю.Н.Логинов; Под ред. В.В.Шимова. Екатеринбург: УГТУ, 1998.
54с.

ISBN 5-230-06516-8

Изложены основные приемы обработки металлов давлением,
применяемые в ювелирном деле. Рассмотрены операции заготовительной
ковки, листовой прокатки, сортовой прокатки, волочения, чистовой ковки,
чеканки, гибки, выколотки, глубокой вытяжки, раскатки, получения
сусальных металлов. Приведены справочные данные по этим процессам.
Библиогр. 9 назв. Табл. 4. Рис.25. Прил.8

$$Л \frac{2603020000-20}{7M2(03)-98} БЕЗ ОБЪЯВЛ.$$

ISBN 5-230-06516-8

© Уральский государственный
технический университет, 1998

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
1. СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ.....	5
2. ЗАГОТОВИТЕЛЬНАЯ КОВКА	6
3. ЛИСТОВАЯ ПРОКАТКА.....	12
4. СОРТОВАЯ ПРОКАТКА	19
5. ВОЛОЧЕНИЕ.....	23
6. ПРИЕМЫ ЧИСТОВОЙ КОВКИ.....	27
7. ЧЕКАНКА РЕЛЬЕФА (ТИСНЕНИЕ).....	33
8. ГИБОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ	36
9. ВЫКОЛОТКА И ГЛУБОКАЯ ВЫТЯЖКА	40
10. ДАВИЛЬНЫЕ И ДАВИЛЬНО-РАСКАТНЫЕ ПРОЦЕССЫ	41
11. ПОЛУЧЕНИЕ СУСАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	42
12. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
Библиографический список	46
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	47

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из областей применения художественной обработки металлов является ювелирное дело. Это одно из древнейших ремесел в истории человечества. Исторически сложилось так, что передача знаний и мастерства здесь шла внутри ограниченного круга лиц: от отца к сыну, от владельца мастерской к наследникам и т.д. Часто эта нить накопленных секретов прерывалась, секреты безвозвратно утеривались, и дальнейшее развитие получали уже иные приемы и методы обработки.

Цель этого издания заключается в освещении некоторых основ ювелирного дела, причем автор не претендует на описание всех используемых в ювелирном деле приемов (обработка драгоценных камней, выплавка сплавов и т. д.), а ограничивают объем изложения только особенностями обработки давлением материалов, используемых в ювелирной технике.

Базовой книгой для изложения является монография Эрхарда Бреполя «Theorie und praxis des goldschmieds» (Теория и практика ювелирного дела), впервые изданная в 1962г. в Лейпциге. Некоторые положения этой книги будут уточнены автором в связи с происшедшими за это время изменением подходов к пониманию процессов, происходящих в металлах при их обработке. Естественным также является описание в настоящем издании процессов, получивших свое развитие уже после издания упомянутой монографии. Описание процессов дополнено расчетными методиками, принятыми в теории обработки металлов давлением. Автор благодарен президенту ассоциации «Кузнецы Урала» профессору кафедры декоративно-прикладного искусства Б.Н.Казаринову за представленные в рецензии замечания, которые были учтены при доработке рукописи.

1. СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ

Заготовки под обработку давлением, как правило, получают литьем. Подготовка заготовок для проведения операций пластической обработки заключается в удалении литников, опиливании натеков металла, удалении заусенцев. В некоторых случаях для придания необходимой начальной формы идут на полную обработку поверхности резанием для удаления поверхностных дефектов в виде пористости и наплывов, а также для сообщения заготовке более правильной формы (удаление прибыльной и донной части и т.п.).

Как правило, на первой стадии обработки получают полуфабрикат: заготовку, имеющую правильную форму, например цилиндра или призмы. Такие заготовки наиболее удобно обрабатывать в технологическом потоке. В последующих операциях по мере приближения к конечной требуемой форме заготовка может приобретать сложные очертания, для чего понадобятся специальные методы обработки.

Заготовки простых форм получают, используя следующие основные способы обработки давлением: ковка, прокатка, волочение. Как правило, эти процессы являются заготовительными, иногда за ними закрепляют термин «черновые». Часто проведение заготовительных, черновых операций обработки давлением обусловлено необходимостью повышения пластических свойств металла для облегчения последующей обработки. Известно, что после сообщения металлу пластической деформации возникают дефекты кристаллического строения, которые при последующем рекристаллизационном отжиге образуют дополнительные центры кристаллизации, в результате чего зерна металла уменьшаются, а о структуре металла говорят, что она «облагораживается».

2. ЗАГОТОВИТЕЛЬНАЯ КОВКА

Ковка как заготовительная операция служит для придания заготовке формы, необходимой для последующей обработки. При ковке воздействием бойка молота, плиты пресса или ударами молотка уменьшают один из размеров заготовки, из-за чего остальные два размера (иногда один из них) увеличиваются. Как и во всех процессах обработки несжимаемых сред здесь соблюдается закон постоянства объема, который формулируется так: объем заготовки до деформации равен объему заготовки после деформации. При ковке заготовки, имеющей форму призмы с начальными размерами: высотой H_0 , длиной L_0 и шириной B_0 силой P (рис.1) получают призму с новыми размерами: высотой H , длиной L и шириной B , поскольку объемы этих призм равны, то справедливо равенство:

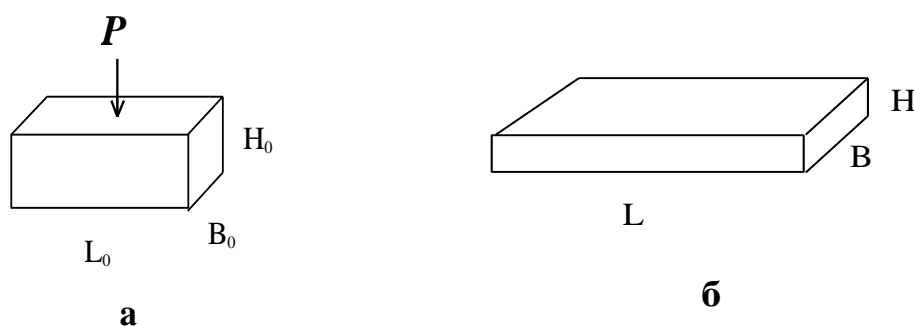


Рис.1. Схема деформации призмы силой P : а - форма до деформации; б - форма после деформации

$$H_0 \cdot B_0 \cdot L_0 = H \cdot B \cdot L. \quad (1)$$

Разделив правую часть равенства (1) на левую, получим

$$\frac{H}{H_0} \cdot \frac{B}{B_0} \cdot \frac{L}{L_0} = 1, \quad (2)$$

и введем следующие обозначения

$\frac{H}{H_0} = \eta$, $\frac{B}{B_0} = \beta$, $\frac{L}{L_0} = \lambda$, тогда равенство (2) можно записать в виде

$$\beta \cdot \lambda = \frac{1}{\eta}, \quad (3)$$

где β - коэффициент уширения;

λ - коэффициент вытяжки;

$\frac{1}{\eta}$ - коэффициент высотной деформации.

Равенство (3) получило название условия несжимаемости или постоянства объема в коэффициентах деформации, оно помогает определить один из неизвестных коэффициентов, если другие два известны.

При ковке цилиндров вдоль их оси воздействием силы P (рис.2) условие (1) можно записать несколько иначе:

$$H_0 \cdot \pi \cdot D_0^2 / 4 = H \cdot \pi \cdot D^2 / 4, \quad (4)$$

откуда после упрощений получим

$$D = D_0 \sqrt{\frac{H_0}{H}}, \quad (5)$$

т.е. при ковке цилиндрической заготовки диаметр увеличивается не пропорционально уменьшению высоты.

Аналогичные связи можно установить для тел, не имеющих цилиндрической формы.

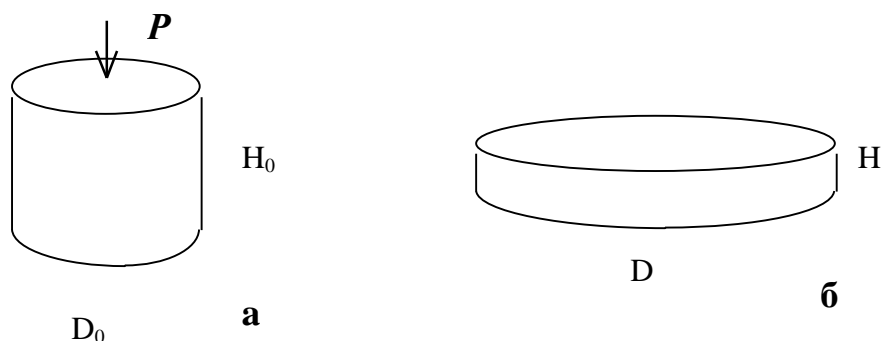


Рис.2. Схема осадки цилиндра: а - форма до деформации; б - после деформации

Из-за воздействия сил трения на контактной поверхности течение металла вблизи этой поверхности замедляется, что проявляется в искажении боковых поверхностей заготовок, которые приобретают бочкообразную форму. Непосредственно к поверхности бойков примыкают зоны затрудненной деформации или жесткие зоны ЖЗ (рис.3). В этих зонах металл практически не деформируется даже при больших общих обжатиях. Если есть необходимость устранить бочкообразование и жесткие зоны, следует использовать инструмент с гладкими (шлифованными или даже полированными) поверхностями, а также применять смазки, в последнем случае поверхность заготовки, наоборот, снабжают насечками для лучшего удержания смазки.

В связи с этим требованием поверхность бойков и наковален должна быть хорошо обработана шлифованием. За инструментом необходим постоянный уход. Для лучшего удержания смазки, в случае ее применения, поверхность металла иногда снабжают насечкой. Вследствие действия больших нормальных нагрузок и скольжения металла по рабочим поверхностям инструмента они проминаются, на них появляются выбоины, царапины, микро и макротрещины. По мере их возникновения следует рабочие поверхности инструмента вновь и вновь прошлифовывать, не

забывая вместе с тем, что глубина закаленного (термоупрочненного) слоя не является беспредельной.

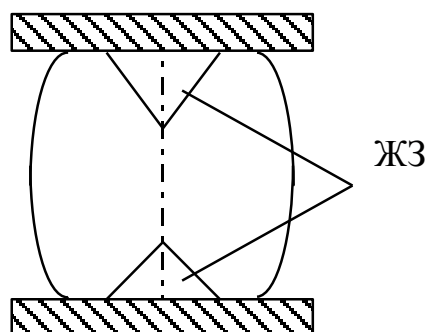


Рис.3. Схема осадки на шероховатых бойках: ЖЗ - жесткие зоны

Для ручнойковки применяют различный инструмент, в том числе молотки с различной массой и формой рабочей поверхности. Использование той или иной поверхности продиктовано характером воздействия на металл. К пластической деформации металла приводит

возникновение в нем достаточного уровня напряжений σ , которые в первом приближении при ударе молотком можно оценить как отношение силы удара P к поверхности действия этой силы F : $\sigma = P / F$. Сила удара в соответствии со вторым законом Ньютона определяется массой молотка m и ускорением a : $P = m \cdot a$. Из рассмотрения этих элементарных формул следуют важные выводы о том, что с увеличением массы молотка деформирующая сила, а также возникающие напряжения увеличиваются, что приводит и к большим пластическим деформациям. Поэтому для создания больших напряжений на больших площадях следует применять молотки большой массы. Однако для создания деформаций на небольших площадях можно применять молотки небольшой массы (например, 100, 200г), либо производить удары не плоской поверхностью молотка, имеющей относительно большую площадь, а клиновидной поверхностью, имеющей малую площадь контакта с металлом.

Большое влияние на характер изменения формы заготовки оказывает направление удара клиновидной части молотка (рис.3). Проекция контакта

молотка с металлом имеет в этом случае форму прямоугольника. В соответствии принципом наименьшего сопротивления металл будет растекаться в направлении, перпендикулярном большей стороне прямоугольника, т.к. в другом направлении, велико сопротивление течению со стороны сил трения. Это приведет к направленному течению металла, чем пользуются для того, чтобы увеличить только ширину, или только длину заготовки. Если желательно обеспечить равенство удлинения и уширения заготовки, например для получения широкого листа, используют молотки с шаровидной формой бойка. Схема рис.4 поясняет характер перемещения металла под воздействием бойков различной формы.

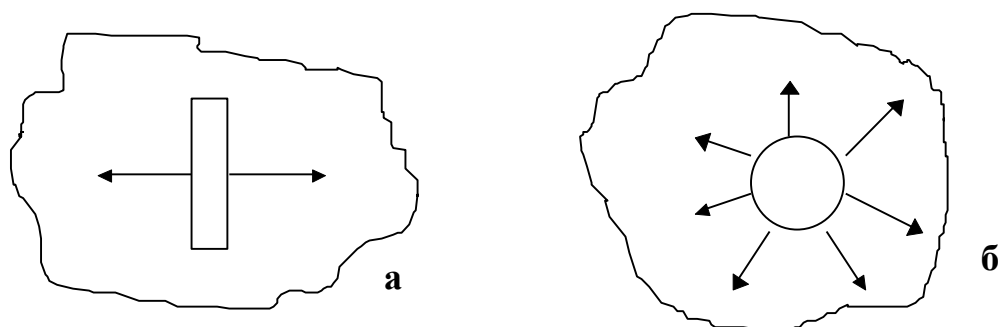


Рис.4. Схема разгона металла при ударе молотками с различной формой рабочей части (стрелками показано преимущественное направление течения металла): а - прямоугольная форма бойка; б - сферическая форма бойка.

Опорным инструментом для операцииковки является наковальня, которая как и молоток изготавливается из высококачественной легированной стали. Главное требование к наковальне - достаточная массивность, что позволяет не допустить ослабления силы удара.

Для черновойковки заготовок большого размера используют очень тяжелые молотки - ручные молоты, либо прибегают к помощи кузнечных машин: паровых и пневматических молотов, механических, гидравлических прессов и др. В этом случае встает вопрос об определении

силы, необходимой для осуществления деформации. В простейшем случае при осадке на шероховатых бойках заготовки цилиндрической формы сила деформации P определяется как

$$P = \sigma_s \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{D}{H}\right), \quad (6)$$

где μ - коэффициент трения;

σ_s - сопротивление деформации, определяемое по кривым упрочнения, которые приводятся в специальных справочниках. Величина σ_s является функцией от степени деформации при холодной деформации (температура деформации t ниже температуры рекристаллизации t_p) и функцией температуры t , степени ε и скорости деформации ξ при горячей деформации ($t > t_p$). При отсутствии данных о значении σ_s эту величину при меньшей точности расчетов можно заменить на физический или условный предел текучести металла σ_T или $\sigma_{0,2}$.

Заготовки удлиненной формы получают кузнечной протяжкой, схема этого процесса изображена на рис.5.

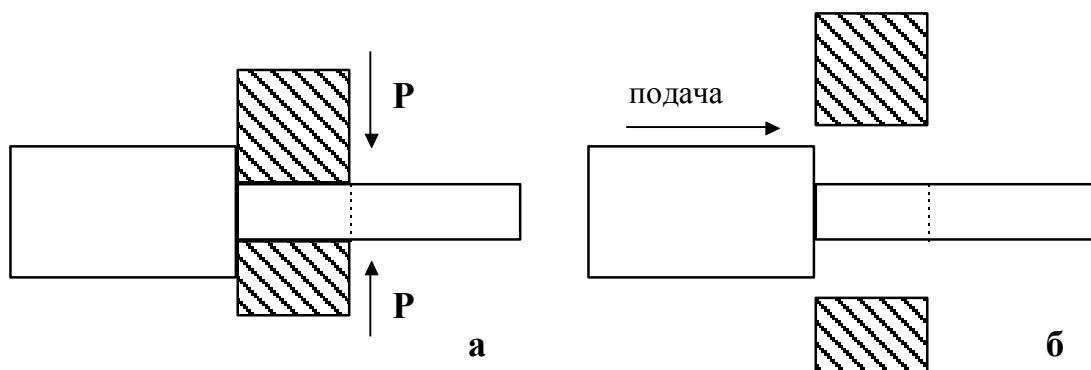


Рис.5. Схема процесса кузнечной протяжки бойками: а - собственно ковка;
б - подача

Кузнечной протяжкой можно получить заготовки как плоской формы, например, для последующей листовой прокатки, так и заготовки, имеющие поперечное сечение, близкое к квадрату - для последующей

сортной прокатки или даже волочения. В последнем случае ковку ведут с кантовкой (поворотом) на прямой угол для ликвидации уширения.

Протяжка с большими подачами приводит к получению длинного очага деформации, а это обуславливает течение металла в ширину, что приводит к получению широких заготовок. Наоборот, применение небольших подач приводит к преимущественному течению металла в длину, а уширение заготовок подавляется.

3. ЛИСТОВАЯ ПРОКАТКА

Для придания литой заготовке формы листа или ленты можно воспользоваться либо ковкой либо прокаткой. Преимуществомковки является отсутствие необходимости в специальном оборудовании (можно обойтись молотком и наковальней), но производительность такого процесса окажется низкой. Производительность прокатки неизмеримо выше, она позволяет получить ровную поверхность на большой длине заготовки.

Схема процесса прокатки представлена на рис.6. Сущность процесса заключается в том, что вращающиеся в противоположном направлении валки захватывают заготовку и обжимают по высоте.

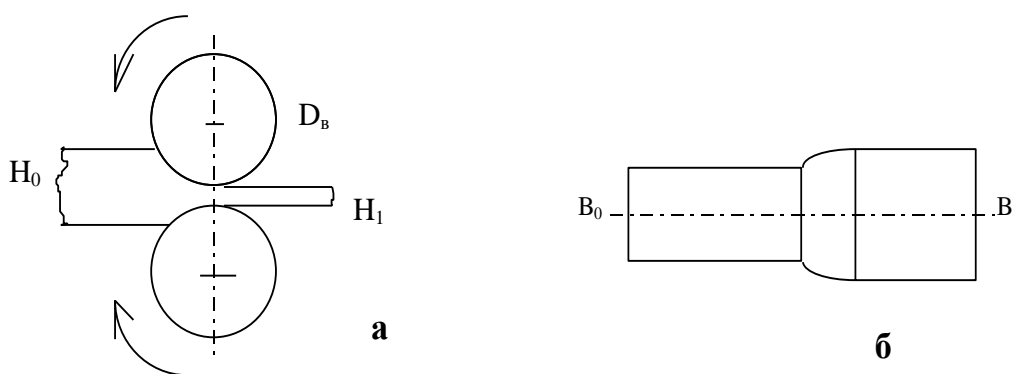


Рис.6. Схема процесса прокатки: а - вид сбоку; б - вид в плане

Важное значение для осуществления прокатки имеет диаметр валков D_v . Понятно желание обойтись при прокатке валками малого диаметра, поскольку прокатный стан получается миниатюрным. Но при этом перед технологом встают следующие проблемы.

- Валки малого диаметра обладают малой захватывающей способностью, поэтому обжатия, а значит, и производительность окажутся небольшими. Максимально возможное обжатие за проход ΔH_{\max} определяется по формуле

$$\Delta H_{\max} = \frac{1}{2} \cdot D_v \cdot \mu^2, \quad (7)$$

где μ - коэффициент трения.

Анализ последней формулы показывает, в частности, что для повышения обжатий следует увеличивать коэффициент трения, использовать валки с шероховатой поверхностью. Этот прием используется, но в разумных пределах, поскольку валки с плохой поверхностью переносят отпечаток ее на поверхность полосы, что ухудшает качество последней.

- Валки малого диаметра обладают малой жесткостью и прогибаются под усилием прокатки. (рис.7). Толщина листа становится неравномерной: большей в центре и меньшей по краям листа. Это вызывает также и неравномерное распределение обжатий по ширине листа. Следствием является различие вытяжек листа по кромкам и по центру. Лист по кромкам стремится приобрести большую длину, что приводит к возникновению волнистости, а при дальнейшей прокатке волнистого листа весьма возможно образование складок по кромкам и разрывов по центру.

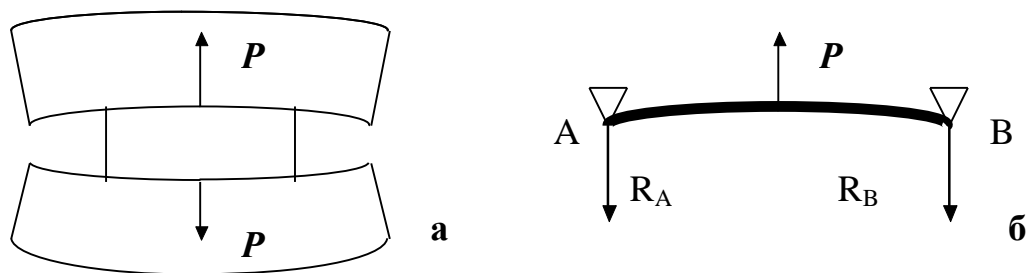


Рис.7. Схема изгиба валков и искажения профиля проката.

* Из практики и теории обработки металлов давлением известно, что прокатка в валках малого диаметра ухудшает пластические свойства металлов, что приводит к появлению трещин и разрывов.

Вместе с тем прокатка валками чрезмерно большого диаметра также имеет негативные стороны, из них наиболее существенными являются следующие.

* Большой диаметр валков обуславливает большие габариты стана, а следовательно, и большую его стоимость.

* Валки большого диаметра создают длинный очаг деформации. Это видно из рассмотрения формулы для определения длины l очага деформации при прокатке:

$$l = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot D_s \cdot \Delta H}. \quad (8)$$

Длинный очаг деформации обуславливает более высокие средние нормальные давления p , что видно из анализа формулы:

$$p = 1,15 \cdot \sigma_s \cdot \left(1 + \frac{l}{4 \cdot h_{cp}} \right), \quad (9)$$

справедливой при $l/h_{cp} > 4$ (прокатка толстых полос);

здесь $h_{cp} = (H_0 + H)/2$ - средняя высота очага деформации;

H_0 и H - толщина полосы до и после прокатки.

Аналогичный вывод можно сделать в результате анализа формулы, справедливой при прокатке тонких полос:

$$p = 1,15 \cdot \sigma_s \cdot \frac{2 \cdot h_n}{\Delta h \cdot (\delta - 1)} \cdot \left[\left(\frac{h_n}{H} \right)^\delta - 1 \right], \quad (10)$$

где $\frac{h_n}{H} = \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + \left(\delta^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{H_0}{H} \right)^\delta}}{\delta + 1} \right\}^{\frac{1}{\delta}}$ - относительная высота очага

деформации в нейтральном сечении;

$\Delta h = H_0 - H$ - обжатие полосы;

$\delta = \frac{2 \cdot \mu \cdot l}{\Delta h}$ - расчетный коэффициент.

- Наряду с более высокими напряжениями более длинный очаг деформации создает большие усилия прокатки P , что следует из формулы

$$P = p \cdot l \cdot B, \quad (11)$$

где B - ширина проката,

а также и большие моменты прокатки, определяемые формулой

$$M = 2 \cdot P \cdot \psi \cdot l, \quad (12)$$

где ψ - коэффициент плеча усилия прокатки, при прокатке в гладких шлифованных валках можно принять $\psi = 0,3 \dots 0,4$.

Для снижения напряжений, усилий и моментов прокатки применяют прокатку с натяжением лент моталками (передними и задними). При анализе этого случая прокатки следует применять специальные зависимости.

- При прокатке валками большого диаметра тонких полос наблюдается явление упругого сплющивания полосы и поверхности вала. Это явление приводит к тому, что часто даже при полностью сведенных валках при отсутствии между ними зазора, обжать полосу не удастся.

Совокупность рассмотренных выше факторов влияния диаметра валков на процесс прокатки привела конструкторов к мысли, что в качестве рабочих можно использовать валки малого диаметра, а для ликвидации их прогиба и увеличения жесткости следует опирать их на валки большего диаметра. Поэтому прокатные клетки более современных станов изготавливают многовалковыми: трехвалковыми (клеть трио, трио Лаута), четырехвалковыми (клеть кварто, рис.8,а), шестивалковыми (рис.8,б), двенадцативалковыми, двадцативалковыми и т.д.

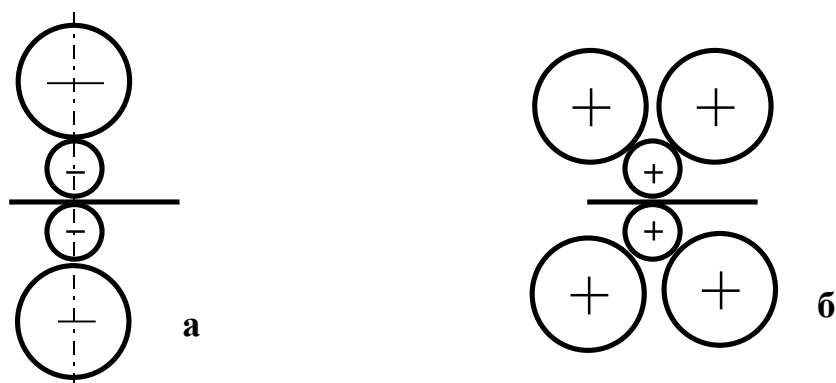


Рис.8. Схема расположения валков в стане кварто (а) и шестивалковом стане (б)

Отсутствие разнотолщинности листа по ширине при многопроходной прокатке добиваются, устанавливая по проходам такие обжатия, при которых усилия прокатки остаются постоянными.

Прокатка приводит к нагартовке металла, т.е. повышению его прочностных свойств и потере им пластических характеристик, в результате в металле могут появиться трещины. Чтобы избежать этого, после накопления некоторой степени деформации заготовки подвергают отжигу, после чего прокатка может быть продолжена. Максимально допустимые степени деформации $\varepsilon_{\text{доп}}$ являются справочными данными (табл.1,2).

Таблица 1

Максимально допустимые степени деформации для сплавов серебра

Проба	925	900	835	800
Допустимая степень деформации, %	70	65	60	55

Таблица 2

Максимально допустимые степени деформации для сплавов золота

Проба	Содержание Ag, %	Цвет	$\epsilon_{\text{доп}}$
750	17	желто-зеленый	65
750	12,5	розовый	60
750	5+20%Pd	белый	55
585	38,25	бледно-желто-зеленый	85
585	28	желтоватый	55
585	11	желтый	55
585	18,75	желтый	60
585	9	оранжевый	55
585	0	красный	75
585	41,5 +15,5Pd	белый	40
333	53,4	бледно-желто-зеленый	60
333	44,5	желтый	50
333	33,3	оранжевый	55
333	20	розовый	55
333	9,5	красный	55

Желательно между проходами прокатывать лист в одном направлении, не меняя его на перпендикулярное, в противном случае есть опасность потери планшетности. Если есть необходимость продолжить

прокатку после кантовки в плане на 90 градусов, то целесообразнее это сделать после отжига.

При листовой прокатке течению металла в ширину мешают силы трения, развивающиеся вдоль образующей бочки валка. Поскольку ширина проката значительно превышает длину очага деформации ($B/l \gg 1$), то в силу закона наименьшего сопротивления металл течет в ту сторону, где размер очага деформации меньше, т.е. в длину. Поэтому при листовой прокатке соотношение между коэффициентами деформации следующее

$$\beta = 0; \lambda = \frac{1}{\eta}.$$

В частности это позволяет однозначно определить коэффициент вытяжки при задании режима обжатий.

Иная ситуация складывается при прокатке на гладких валках нешироких полос. Здесь часть металла может идти на увеличение длины заготовки - в вытяжку, а часть - в уширение. Для расчета величины уширения используют специальные формулы, например, формулу С.И.Губкина:

$$\Delta B = \left(1 + \frac{\Delta H}{H_0}\right) \cdot \mu \cdot \left(l - \frac{\Delta H}{2 \cdot \mu}\right) \cdot \frac{\Delta H}{H_0},$$

где l - длина очага деформации.

Прокатку крупных заготовок из таких применяемых в ювелирной технике сплавов, как мельхиор и нейзильбер, ведут в горячем состоянии до толщины 8...15 мм, после чего поверхность раската подвергают зачистке фрезами, а дальнейшую прокатку ведут в холодном состоянии.

Особенностью прокатки благородных металлов и сплавов является практически полный отказ от горячей прокатки из-за опасности потерь металла, порчи приповерхностных слоев заготовки из-за перераспределения лигатуры и окисления неблагородных компонентов.

Для прокатки тонкой и тончайшей ленты(фольги) применяют пакетную прокатку. До толщины 25...50 мкм прокатку ведут в 4...8 слоев, а более тонкую фольгу прокатывают в специальных металлических прокладках: «рубашке». Для получения фольги толщиной до 1мкм металлические карточки перекладываются листами пропитанной парафином бумаги, после чего прокатываются на стане. Бумага с парафином является смазочным покрытием, снижая коэффициент трения и напряжения прокатки. Она же предотвращает слипание карточек между собой. Чрезвычайно важен режим обжаривания: частные и суммарные (до отжига) деформации, пересортировка слоев пакета и др.

Одним из способов изготовления узких лент является плющение прокаткой прутков и проволоки круглого сечения. Плющение осуществляют в клетях, снабженных валками небольшой длины с гладкой бочкой.

Своеобразным гибридным процессом прокатки и чеканки (тиснения) является процесс накатки рельефа на листовую заготовку валками, снабженными орнаментом. В этом процессе металл листовой заготовки, пластически деформируясь, затекает в углубления рельефа поверхности валков, заполняет их и формирует картину, зеркально обратную гравюре валка.

4. СОРТОВАЯ ПРОКАТКА

При необходимости получить вытянутое в длину изделие с примерно равными высотой и шириной (пруток, проволока и др.) приемы листовой прокатки становятся непригодными, поэтому применяют сортовую прокатку. Для уменьшения в равной степени ширины и высоты прутковой заготовки последнюю по проходам поворачивают на 90 градусов (кантуют) и вновь задают в валки. Уширение здесь является вредным явлением,

и его стремятся свести к минимуму, например, затесняя металл в калибры, образованные ручьями, нарезанными на поверхности валков. Прокатка обычно ведется задачей заготовки в калибры, образованные этими ручьями, с последовательно уменьшающимся поперечным сечением (рис.9).

К сожалению, полностью подавить уширение не удастся, поэтому используют различные системы калибров, позволяющие рационально управлять течением металла. Прокатку ведут по следующим системам: ящичных (прямоугольных) калибров, овал-квадрат, овал-круг, ромб-квадрат, ромб-ромб и т.д.

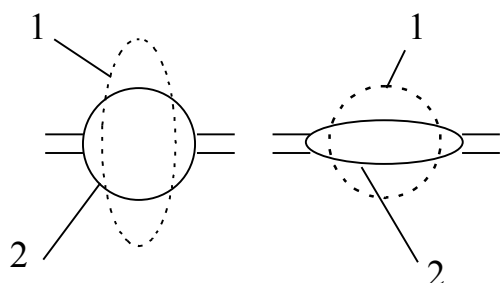


Рис.9. Схема системы калибров овал-круг: 1 - контур заготовки; 2 - контур калибра.

Наиболее простым методом расчета формоизменения и энергосиловых параметров сортовой прокатки является метод соответственной полосы, в котором размеры калибра и задаваемой в него заготовки заменяются размерами соответственной полосы. За соответственную принимается полоса прямоугольного сечения, у которой

площадь поперечного сечения равна площади заготовки. Вводится также и используется в дальнейших расчетах понятие катающего диаметра валков: это такой воображаемый диаметр, при котором окружная скорость валков равна скорости полосы в плоскости выхода ее из валков:

$$D_k = D_0 \cdot \frac{F_1}{B_1},$$

где D_0, F_1, B_1 - диаметр валка, площадь и ширина полосы на выходе из калибра соответственно.

Прокатка в ящичных (прямоугольных) калибрах (рис.10) обеспечивает равномерную деформацию металла по ширине полосы, возможность получения полос различной толщины за счет регулирования межвалкового зазора, устойчивое положение раската.

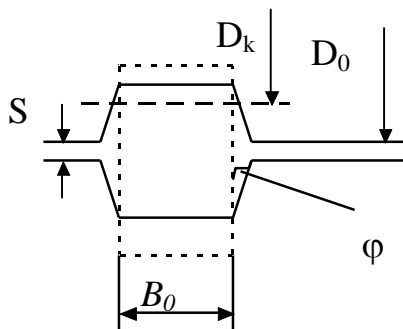


Рис.10. Ящичный калибр и профиль задаваемой в него прямоугольной полосы (штриховая линия)

Для предотвращения защемления полосы в калибре стенки последнего делают наклонными (под углом φ) к вертикали, величину $\operatorname{tg} \varphi$ называют выпуском калибра и выражают в процентах. Выпуск колеблется от 8 до 50% в зависимости от предназначения калибра. К сожалению из-за

наличия выпуска не удастся получить после прокатки полосу строго прямоугольного сечения, в том числе правильно оформленного квадрата.

Изменение межвалкового зазора S позволяет регулировать степень обжатия и, в какой-то мере, форму получаемой после прокатки полосы. Не следует стремиться к установке на стане чрезмерно малых величин S , т.к. при переполнении калибра металлом нагрузки на привод могут оказаться слишком большими, что может привести к поломке оборудования.

Выбор рациональной системы калибровки является неоднозначно решаемой задачей. С точки зрения достижения максимально возможной вытяжной способности системы калибров выбор основывают после расчета безразмерного параметра: приведенного диаметра валков $A = D_k / H_1$, где H_1 – высота калибра. При $A=4...8$ целесообразно использовать систему ящичных калибров, при $A=9...15$ - систему

шестиугольник-квадрат, а при $A > 15$ - овал-квадрат. Однако наряду с требованием высокой производительности могут оказаться важными и другие обстоятельства. Немаловажно, чтобы калибровка валков позволяла получать широкую гамму промежуточных размеров правильных фигур: круга и квадрата, которые впоследствии можно использовать как заготовки для получения конкретных изделий. Исходя из этого требования, приходится использовать калибровки, не обеспечивающие высоких вытяжек.

Для большей гибкости процесса применяют и такие калибровки как гладкая бочка-круг, которая позволяет получить широкую гамму размеров промежуточных прямоугольных полос и круглых прутков и проволоки. Для правильного оформления профиля по проходам необходимо выполнять условия либо чередования равноосного сечения с неравноосным (овал-круг, овал-квадрат, шестиугольник-квадрат), либо чередования неравноосных сечений с кантовкой по длинной оси (ромб-ромб, прямоугольник-прямоугольник). К сожалению, из-за незнания основ калибровки, в ювелирном производстве иногда используют калибровки типа квадрат-квадрат, круг-круг, что приводит к переполнению калибра и появлению на заготовках таких дефектов, как заусенцы и закаты. Последствия такого решения показаны на рис.11: в калибр квадратного сечения задается заготовка также квадратного сечения (показана штриховой линией), естественно, что размер задаваемого квадрата больше размера калибра, т.к. целью прокатки является уменьшение сечения. Часть металла заготовки переходит в уширение с образованием так называемых «лампасов». Рядом на рисунке показана полученная заготовка, подготовленная для задачи в следующий калибр. Тонкие пластины лампасов подогнуты при задаче в следующий калибр и будут вдавлены валками в поверхность заготовки.

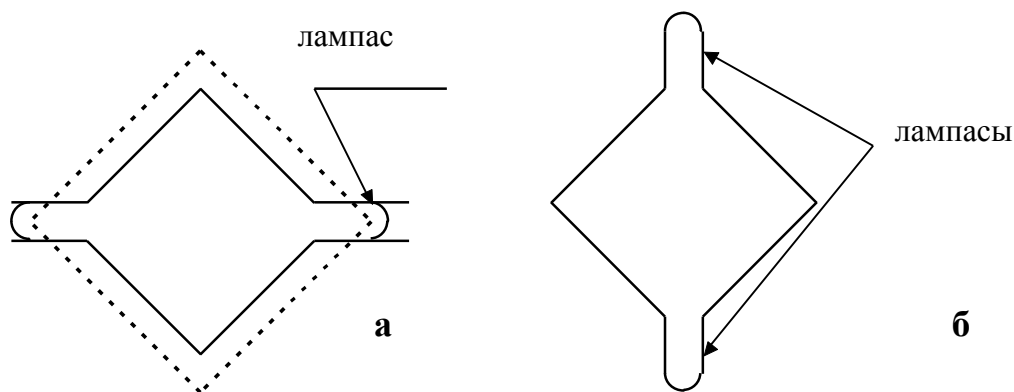


Рис.11. Схема образования дефектов типа лампасов

Отличие применения сортовой прокатки в ювелирном деле состоит в том, что заготовки из сплавов благородных металлов даже относительно больших сечений, как правило в горячем состоянии не прокатывают. На предприятиях черной и цветной металлургии, наоборот, сортовая прокатка - процесс горячей обработки металла. В связи с этим, расчетные методики формоизменения, справедливые для горячей деформации, в ювелирном деле следует применять с крайней осторожностью.

5. ВОЛОЧЕНИЕ

Волочение представляет собой процесс обжатия длинномерной заготовки протягиванием ее через отверстие, имеющее размер меньший чем поперечный размер заготовки. Достоинством процесса является простота применяемого инструмента. Волока (рис.6) представляет собой плиту или цилиндр из прочного и износостойкого материала, в котором выполнено отверстие, имеющее конфигурацию в просвете, соответствующую форме и размерам поперечного сечения изделия.

Для изготовления волок применяют инструментальные стали, твердые сплавы (карбиды и нитриды металлов, сцементированные металлом-связкой), а также синтетические и натуральные алмазы.

Наиболее дешевым материалом для изготовления волок являются инструментальные стали, но из-за низкой стойкости против износа они в последнее время применяются при волочении заготовок крупных размеров поперечного сечения (от 30мм и выше). Наибольшее распространение для изготовления волок получили твердые сплавы типа ВК (ВК2, ВК3,...,ВК20), представляющие собой зерна карбида вольфрама, сцементированные кобальтом, число в марке говорит о процентном содержании кобальта. С повышением содержания кобальта увеличивается прочность твердого сплава, но падает твердость, косвенно связанная с износостойкостью.

Более дорогими, но и более долговечными являются волокна из естественных и искусственных алмазов. Дополнительным их преимуществом являются более низкие коэффициенты трения при волочении, что приводит к меньшему разогреву и меньшей потере технологических свойств смазки.

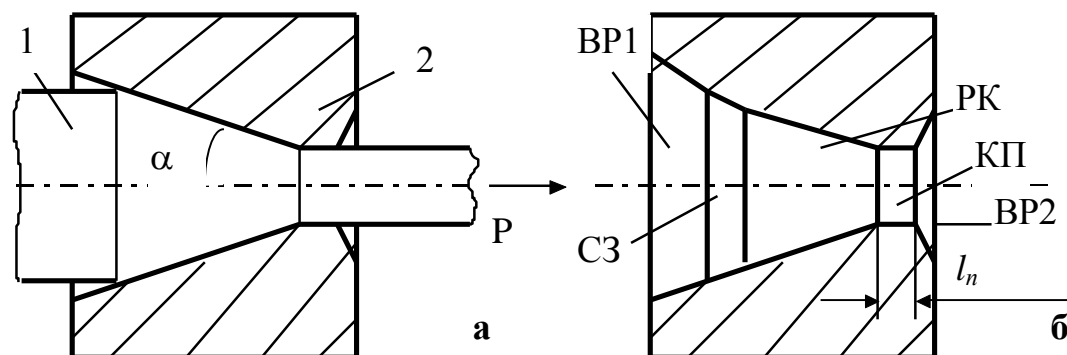


Рис.12. Схема волочения прутка или проволоки(а): 1- заготовка; 2 - волокна(фильера) и продольное сечение волокна(б): ВР1-входная распушка; СЗ-смазочная зона; РК-рабочий конус; КП-калибрующий пояс; ВР2-выходная распушка

Угол волокна α (рис.12) назначают в пределах $6...8^\circ$ при волочении прутков и проволоки и $12...14^\circ$ при волочении полых заготовок.

Канал волокни расшлифовывают до заданного размера и полируют с применением притиров и абразивных паст.

Предварительная подготовка заготовки перед волочением заключается в изготовлении захваток: утонении конца заготовки для задачи в отверстие волокни. Захватки изготавливают различными способами в зависимости от формы и площади поперечного сечения заготовки. Для заготовок больших сечений применяют следующие приемы: проточка на токарном станке, заковка на завальцовочных станках, заковка на ротационно-ковочных машинах. У заготовок небольших сечений захваты часто изготавливают вручную напильником, абразивным инструментом, перегибом и т.д.

Собственно процесс волочения производят ручным или машинным способом. Наиболее прост и доступен ручной способ волочения, но его можно применить лишь в том случае, если усилие волочения не превышает 100...200Н. В этом случае передний заостренный конец предварительно смазанной заготовки задают в отверстие волокни, захватывают его клещами, плоскогубцами, цанговым зажимом или пинцетом и, прикладывая тянущее усилие, протягивают через отверстие, желательно без остановок и одинаковой скоростью.

Для машинного волочения используют волочильные станы различных конструкций. Прямолинейные прутки, проволоку и трубы получают на линейных станах, большей частью с цепным приводом тянущей каретки. Полуфабрикаты небольших сечений и большой длины получают, наматывая заготовку на барабан с формированием бухты.

Известно большое количество смазочных веществ и композиций, применяемых при волочении. В промышленности благородных металлов используют стиральный порошок на основе стеаратов металлов (не синтетический!), порошок и растворы натриевого, кальциевого мыла и др.

При изготовлении единичных изделий применяют парафины, пчелиный воск, растительные, животные масла и др.

При назначении чрезмерно больших обжатий изделие на выходе из волоки будет обрываться. Чтобы этого не допустить, необходимо правильно назначить режим частных и суммарных (до отжига) обжатий. Удобнее использовать понятие коэффициента вытяжки. Частные (за один проход) значения вытяжек λ при прутковом и проволочном волочении ограничены величинами 1,1...1,5. Большие значения вытяжек соответствуют случаю волочения пластичных металлов и сплавов, обладающих высокой склонностью к нагартовке, это характерно также для первых проходов волочения. От прохода к проходу упрочнение металла увеличивается, в результате пластичность уменьшается, а кривая упрочнения переходит на пологий участок. Поэтому обжатия и коэффициенты вытяжки по проходам снижают вплоть до отжига. После отжига можно вновь назначить большие коэффициенты вытяжек.

Для правильного назначения режима вытяжек выполняют расчеты напряжений, усилий волочения, а также коэффициентов запаса. Волочением получают заготовки разнообразного (не только круглого) сечения, и порядок расчета параметров процесса для разных случаев будет несколько отличаться. Для определения напряжения волочения круглого прутка или проволоки справедлива формула И.Л.Перлина

$$P_{\sigma} = \frac{\sigma_s}{\cos^2[(\alpha + \rho) / 2]} \cdot \frac{a + 1}{a} \cdot [1 - \lambda^{-a}],$$

где $a = (\cos^2 \rho) \cdot (1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha') - 1$;

$$\alpha' = \operatorname{arctg} \left(\frac{(D - d) \operatorname{tg} \alpha}{(D - d) + 2l_k \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right) - \text{приведенный угол};$$

D и d - диаметры заготовки до и после волочения;

$\rho = \arctg \mu$ - угол трения

λ - коэффициент вытяжки.

Сила волочения P определяется по формуле

$$P = p_{\epsilon} \cdot F_1$$

где F_1 - площадь поперечного сечения заготовки на выходе из волоки.

Отношение $k_z = \sigma_{s1} / p_{\epsilon}$ называется коэффициентом запаса. Здесь σ_{s1} - сопротивление деформации металла после выхода из волоки. Для устойчивого безобрывного процесса волочения необходимо так назначать вытяжки, чтобы коэффициенты запаса были во-первых выше единицы, а во-вторых, в рекомендованных интервалах: при диаметрах изделия 1...10мм - 1,4...2,0; при диаметрах 0,1...1,0мм - 1,4...2,7; при диаметрах менее 0,1мм - 1,8...2,7. Увеличение коэффициентов запаса при уменьшении диаметра проволоки обосновано тем, что поперечный размер проволоки становится соизмерим с величиной дефектов в металле, которые являются основной причиной повышенной обрывности при тонком и тончайшем волочении

6. ПРИЕМЫ ЧИСТОВОЙ КОВКИ

Задачей черновойковки является подготовка заготовок для последующего целенаправленного придания формы с помощью чистовойковки или иных формообразующих операций.

Для чистовойковки могут потребоваться более сложные опорные поверхности, чем при заготовительной, поэтому рассмотрим основные типы наковален (рис.13,14).

Брусковая наковальня может иметь острые и закругленные углы и грани.

Вставная наковальня (флахшток) имеет форму куба, на конце которого имеется шип, с помощью которого наковальню можно легко и быстро закрепить на основании (деревянном или стальном). Форма самой наковальни может быть самой разнообразной.

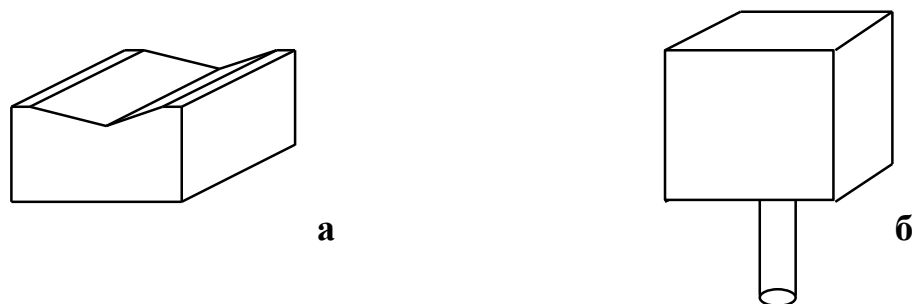


Рис.13. Брусовая наковальня с вырезом(а) и вставная наковальня (флахшток)

Двурогая наковальня (шперак) заканчивается двумя конусными рогами, один из которых имеет прямоугольное сечение, а другой - круглое.

Ригели представляет собой стержни разнообразного поперечного сечения (круглого, квадратного, овального и др.) , которые служат опорой для ковки полых деталей, например, браслетов и колец.

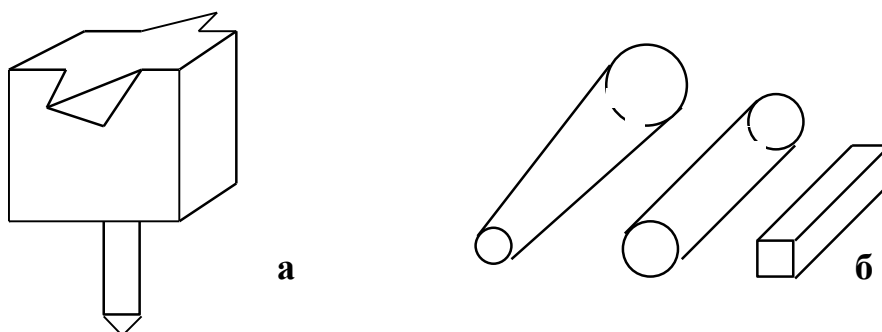


Рис.14. Двурогая наковальня - шперак(а) и ригели (б): конический, цилиндрический, квадратный

Исходным материалом для ковки часто является слиток круглого поперечного сечения. Для получения штабика квадратного поперечного

сечения сначала проковывают прутком молотком с плоским, слегка закругленным бойком с одной стороны по всей длине на *флахишке*. Затем его переворачивают и проковывают противоположную сторону. После этого таким же способом проковывают две другие грани строго под прямым углом (рис.15,а). При перекосе граней штабика его сечение приобретает ромбовидную форму, для устранения дефекта заготовку следует перековать на шестигранник, затем на круглый профиль и далее начать снова ковку квадратного сечения.

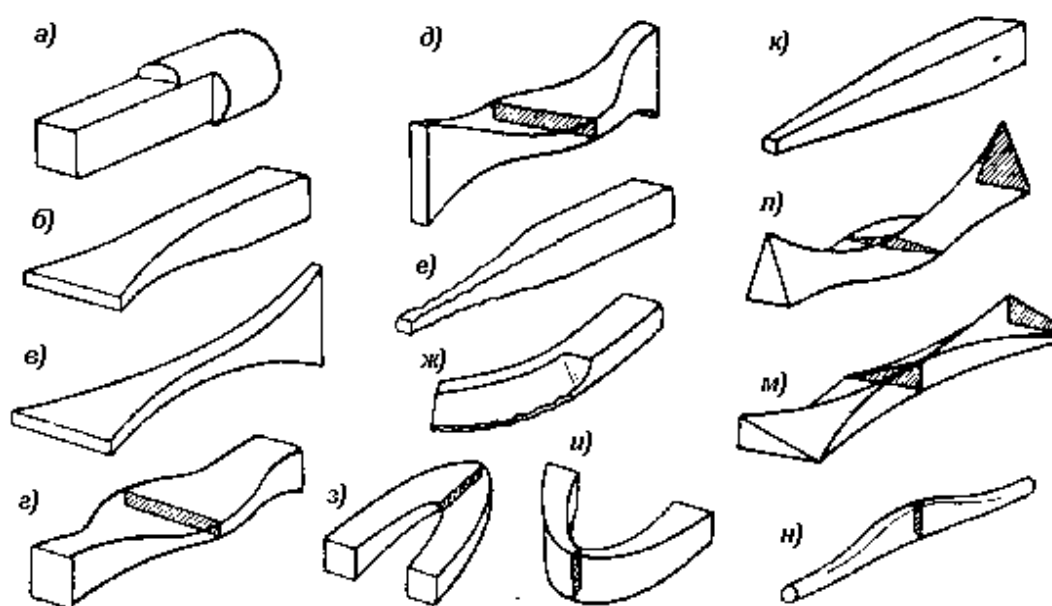


Рис.15. Приемы получения основных форм (пояснения в тексте)

Если один конец прутка проковать больше, чем весь пруток, то получается первая основная форма кованого полуфабриката - клиновидное уширение штабика (рис.15,б).

Постепенно, проковывая две другие грани противоположного конца штабика перпендикулярно клину, получают заготовку в форме винта, при этом удлинение заготовки незначительно(рис.15,в).

При ковке средней части исходного четырехгранного прутка плоско-скругленным бойком получают в этом месте большую ширину и меньшую толщину заготовки(рис.15,г).

Проковка квадратных торцев на прямоугольное сечение дает форму заготовки, показанную на рис.15,д, середина заготовки прокована на прямоугольник в другом направлении.

Если необходимо заострить конец прутка, то проковывают все грани в той же последовательности, как и при вытяжке круглого прутка на квадратный профиль. Используют клиновидный боек молотка, а удары наносят все сильнее по мере приближения к торцу штабика(рис.15,е).

Удары по ребру штабика вызывают удлинение только этого ребра, в результате штабик искривляется, а поперечное сечение приобретает треугольную форму(рис.15,ж).

Изделия разнообразных форм можно получить в том случае, если прутки квадратного сечения согнуть, а затем проковать по толщине в месте сгиба (рис.15,з). Если место сгиба проковать на роге наковальне или ригеле, то прутки утоняются в другой плоскости и загибаются (рис.15,и). Для получения заостренного конца круглого сечения из призматического штабика, его проковывают до формы, показанной на рис.15,к, а затем заострение перековывают на шестигранник, и только потом - на круг.

Треугольный профиль переменного по длине сечения (рис.15,л) получают ковкой призмы до треугольного профиля, затем проковывают ребро на середине прутка до нужной толщины, а затем устраняют одну грань проковкой.

Кованая заготовка сложного сечения по рис.15,м получена ковкой концов до треугольного профиля с разной направленностью клина, а средняя часть была получена ковкой другого ребра.

Круглая заготовка с переходом посередине в прямоугольное сечение (рис.15,н) получена ковкой молотком с плоским, слегка скругленным бойком.

В качестве примера применения ковочных операций рассмотрим процесс получения плоского кольца. Ковка кольца в отличие от литья позволяет получить хорошую беспористую структуру металла и освобождает от необходимости изготовления модели.

У четырехгранного штабика (рис.16) проковывают или вальцуют удаленные от центра стороны до размеров сечения будущих частей шинки. Молотком на *флашилке* головке и частям шинки придают предварительную форму. Берут стальную оправку и ударами молотка вдавливают ее в свинцовую пластину, формируя гибочный желоб. В желоб укладывают заготовку и ударами молотка по оправке меньшего диаметра, чем первая, зачеканивают в желоб. Тонкие концы шинки подгибают окончательно в тисках на оправке. Концы заготовки состыковывают и пропаивают твердым припоем.

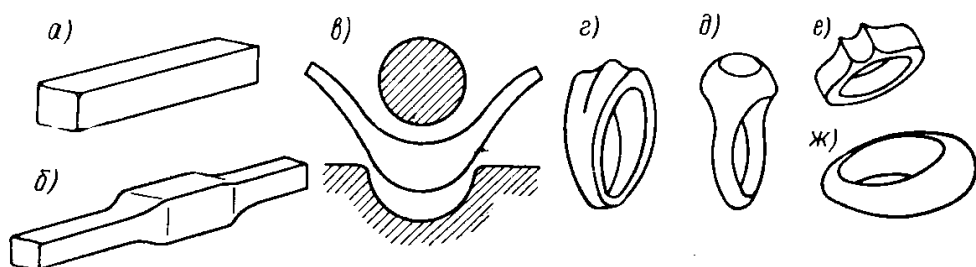


Рис.16. Приемы получения кованого кольца (пояснения в тексте)

Шинку рихтуют на ригеле или роге наковальни. В зависимости от замыслов по формированию окончательной формы кольцо подвергают дополнительной обработке. Для получения формы, показанной на рис.16,г, шинку зауживают с двух сторон. Среднюю часть кольца выковывают на

роге наковальни, придавая ей в сечении форму пологой крыши, постепенно сходящей на нет. Полученные наклонные поверхности отделяют пуансоном (чеканом), формируя желобки. Поверхности тщательно разглаживают, и при необходимости, шлифуют и полируют.

При большой разнице в поперечных сечениях кольца (рис.16,д) применяется материал с высокой пластичностью, т.к. степени деформации здесь выше. Правильно закругленное кольцо проковывают до получения полукруглого сечения по всему периметру и отделяют среднюю часть. Окончательную форму придают опиливанием.

Для формирования желобка на кольце (рис.16,е) его размещают на ригеле, тупым зубилом делают надруб в верхней части и оправкой формируют желобок.

Получение кольца с полукруглым поперечным сечением производят по описанной выше технологии, но завершающие приемы включают проковку полукруглого профиля на оправке (ригеле). При этом форма самого кольца может отличаться от круглой.

Массивные кованые шинки изготавливают следующими способами. Как и в предыдущих примерах заготовку куют, сгибают, спаивают и рихтуют. Затем верхнюю утолщенную часть кольца разрезают лобзиком. Образуются два симметричных конца, между которыми можно вставить украшение. Недостаток этого приема состоит в том, что в самом тонком месте содержится паяный шов.

Во втором случае концы штабика остаются утолщенными, а средняя часть проковывается до нужного размера, после чего заготовку загибают (рис.17,а,б).

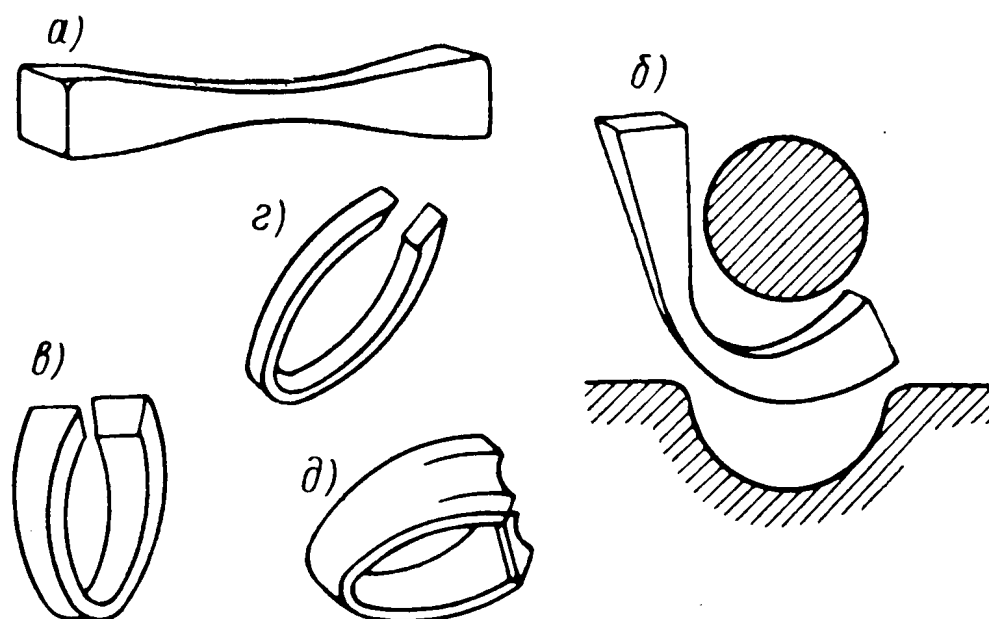


Рис.17. Приемы ковки массивного кольца

Шинку прямоугольного сечения проковывают посередине, получая утонение по ширине (рис.17,в). При постоянной ширине возможна проковка по высоте с утонением к середине (рис.17,г). Возможна также дополнительная отделка в виде насечки или желобка (рис.17,д), получаемая профильной оправкой.

7. ЧЕКАНКА РЕЛЬЕФА (ТИСНЕНИЕ)

Термин «чеканка» употребляется для обозначения операции получения рельефной поверхности на листовом или объемном материале.

Ручная чеканка выполняется с помощью специального инструмента - чеканов: стержней с рабочим торцем (бойком) разнообразных форм. Ударами молотка по чекану сообщают локальную деформацию поверхности заготовки. Различают различные виды чеканов: **расходник** (обводной чекан) представляет собой несколько утолщенный в средней

части и утоненный к концу стержень с рабочей поверхностью в виде клина. Применяют для воспроизведения общего очертания рисунка, например, шрифта (рис.18).

Порушники и бобошники имеют полушаровую или овальную форму бойка и применяются для выбивания выпуклостей требуемой формы.

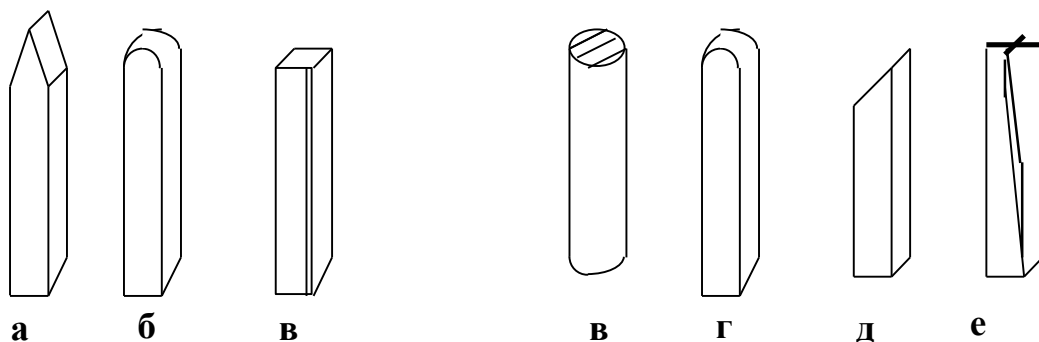


Рис.18. Различные виды чеканов: а - расходник; б - порушник; в - лощатник; г - рифленый; д - сечка; е - фигурный

Лощатники служат для выравнивания и сглаживания поверхностей, бойки могут иметь различную форму: квадратную, круглую, треугольную и др. со слегка скругленными контурами.

Рифленые или матовые чеканы имеют рифленую форму бойка, обычно служат для создания фона на листовом материале.

Сечки имеют форму односторонне заточенного зубила. Применяются для выбивания тонкого линейного рисунка.

Фигурные (узорные) чеканы имеют сложные рабочие поверхности, образующие отдельные детали композиционного рисунка, служат для отделки орнамента.

Важное значение при чеканке имеет способ закрепления детали. При неудачном закреплении на тыльной стороне детали могут появиться вмятины от ударов по лицевой стороне. Поэтому стараются

перераспределить напряжения от удара, опорную поверхность наковальни приспособливают по форме к поверхности детали. В частности используют наковальню кубической формы (*анка*) в которой сделаны углубления различной величины. Часто используют мягкие подкладки из дерева, резины, картона или свинца, ослабляющие действие удара.

Еще одним приемом является закрепление детали с помощью специальной мастики (*трайбкитта*) на основе смолы и гипса. Мастику выливают в чеканочный шар (*китткугель*), представляющий собой полукруглую чугунную чашу, установленную подвижно на кожаной подкладке (рис.19).

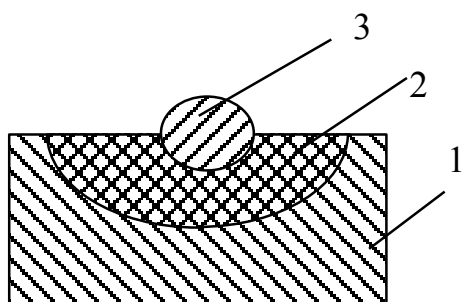


Рис. 19. Китткугель (1), залитый трайбкиттом(2) с помещенной в него заготовкой (3)

Чеканка	штамповкой
выполняется	с помощью
чеканочных	штампов и
производится	обычно на
механических	или
гидравлических	прессах. Таким
способом	получают монеты,
	ордена, медали, памятные
	значки и др. Для чеканки
штамповкой	характерны

небольшие рабочие перемещения штампового инструмента, но высокие удельные давления на него. Усилия, необходимые для чеканки, оцениваются по формуле

$$P = q \cdot F$$

где F - площадь проекции детали,

q - необходимое давление чеканки, для некоторых материалов приведено в табл. 3.

Таблица 3

Опытные давления чеканки

Материал для чеканки	Давление, МПа
Золотые монеты	1200-1500
Серебряные монеты	1500-1800
Никелевые монеты	1600-1800
Латунные циферблаты	2500-3000
Столовые приборы из нержавеющей стали	2500-3000

Чеканку иногда называют тиснением, различают одностороннее тиснение: рельеф только на одном из штампов и двустороннее тиснение (рельеф выполняется на обоих штампах).

8. ГИБОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Гибка применяется для изменения формы листовых, прутковых (проволочных) и трубных заготовок, как правило без изменения размеров сечения заготовки. Для напряженного состояния изгиба характерно наличие областей напряжений сжатия и растяжения, разделенных нейтральной линией или поверхностью (рис.20). Возникающие в теле

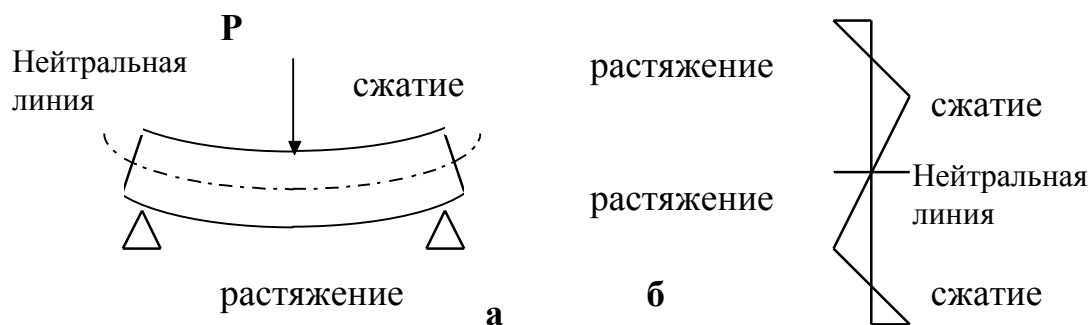


Рис.20. Расположение зон сжатия и растяжения в изогнутой заготовке (а) и эпюра остаточных напряжений в поперечном сечении заготовки после снятия нагрузки (б)

напряжения приводят к упругим и пластическим деформациям. После снятия нагрузки тело частично возвращает свою форму, но внутри тела остаются остаточные напряжения различных знаков (рис.20,б). При последующем снятии слоев обработкой резанием действие остаточных напряжений может привести к нарушению формы изделия, поэтому после гибки целесообразно применить низкотемпературный отжиг.

Существует довольно большое количество разновидностей гибки, для каждой из которых разработаны методики расчета формоизменения и силовых параметров. Для примера рассмотрим схемы гибки листового материала, изображенные на рис.21.

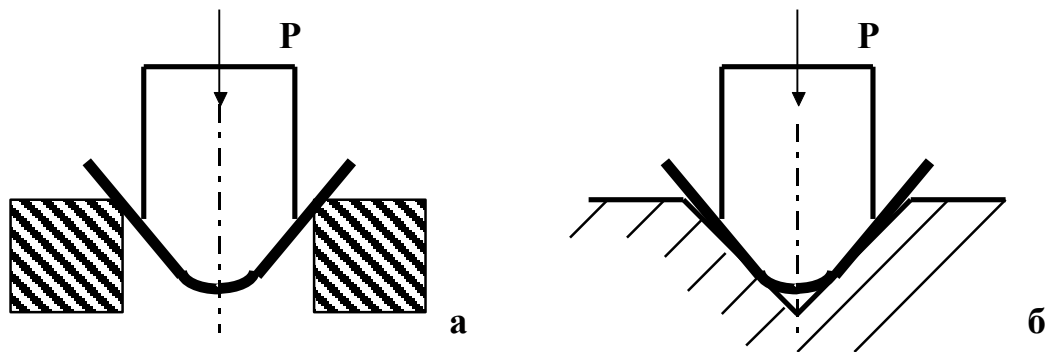


Рис.21. Схема гибки: а - одноугольная и полукруглая свободная гибка без калибровки; б одноугольная гибка

Применительно к этим двум схемам усилия гибки рассчитываются по формулам:

$$P = \frac{B \cdot S^2}{l} \cdot \sigma_B \cdot n ;$$

$$P = \frac{B \cdot S^2}{r + S} \cdot \sigma_B ,$$

где S - толщина листа;

B - ширина листа;

l - расстояние между опорами при свободной гибке;

σ_B - предел прочности материала;

$n=1,8$ - коэффициент, учитывающий упрочнение;

r - радиус гибки.

При гибке со стороны воздействия пуансона в заготовке образуется зона действия сжимающих напряжений, а с обратной стороны - зона действия растягивающих напряжений, зоны разделены нейтральной линией. В зоне действия растягивающих напряжений возможно разрушение материала в виде трещин. Поэтому стремятся не допустить слишком высокого уровня напряжений, ограничивая радиус кривизны некоторыми минимальными величинами, при этом учитывают анизотропные свойства заготовки, различая положение линии сгиба: вдоль волокон проката и поперек волокон проката: для медьсодержащих сплавов в наклепанном состоянии при расположениигиба поперек волокон проката радиусгиба принимают равным 40% от толщины заготовки, а при расположениигиба вдоль волокон проката - 80% от толщины заготовки.

При гибке профилей требования к наименьшему радиусугиба более жесткие, так для случаягибки простых профилей радиусгиба не должен быть меньше четырехкратного значения толщины.

Гибка полых заготовок и труб сопровождается дополнительными трудностями. Поперечное сечение трубы может сильно деформироваться. Толщина стенки трубы с наружной стороны уменьшается, а с внутренней стороны - увеличивается. При гибке тонкостенных трубок происходит образование складок с внутренней стороны колена в результате потери устойчивости. Поэтому применяют наполнители, заполняя ими полость трубы. Однако при гибке с наполнителем или оправкой сечение трубы может оказаться круглым, но разностенным. При гибке трубок без наполнителя наименьший радиусгиба r связан с диаметром трубы D и толщиной стенки S в соответствии с данными таблицы:

S/D	0,02	0,05	0,1	0,15
r/D	4	3,6	3	2

При меньших радиусах гибки процесс производят с удаляемым наполнителем: песком, свинцом, льдом и т.д.

В ювелирном деле имеют большое распространение проволочногибочные работы, осуществляемые, как правило, вручную с использованием таких инструментов как оправки, цанги, и щипцы: плоскогубцы, круглогубцы, шинные и специальные щипцы.

Изготовление круглых звеньев осуществляют на оправке несколько меньшего диаметра, чем диаметр звена. Проволока укладывается одним концом в специально подготовленную вдоль оси оправки канавку, зажимается в ручных тисках и производится намотка спирали. Ригель медленно поворачивается одной рукой, а другой рукой направляют проволоку для плотного прилегания витков. Рекомендуется после намотки спираль отжечь вместе с оправкой, после чего разрезать вдоль в направлении, перпендикулярном к намотке витков.

При получении звеньев прямоугольной формы целесообразно по контуру звена в углах сделать надрезы (рис.22,б). Это предотвратит образование трещин в области действия растягивающих напряжений.

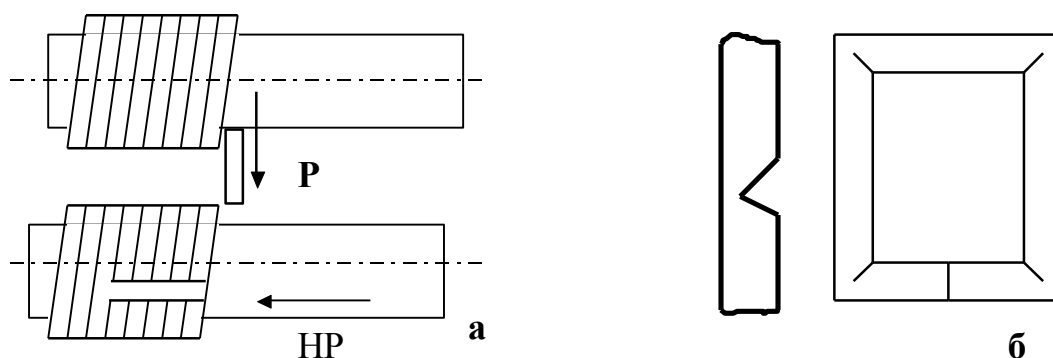


Рис.22. Схема намотки спирали для получения звеньев цепи (а): Р - направление намотки; HP - направление резки; схема получения звеньев прямоугольной формы с надрезами

9. ВЫКОЛОТКА И ГЛУБОКАЯ ВЫТЯЖКА

Выколотка и глубокая вытяжка служат для изготовления пустотелых изделий, их преимуществами является возможность получения бесшовных конструкций. Выколотка является ручной операцией и осуществляется с помощью пуансона (рис.23), молотка и наковальни с лунками (анки). Чекан или пуансон с шаровой головкой ударами молотка изменяет форму листовой заготовки, помещенной напротив лунки. Лист под воздействием этой силы вдавливается в лунку, а после соприкосновения с ее поверхностью изменяет свою толщину.

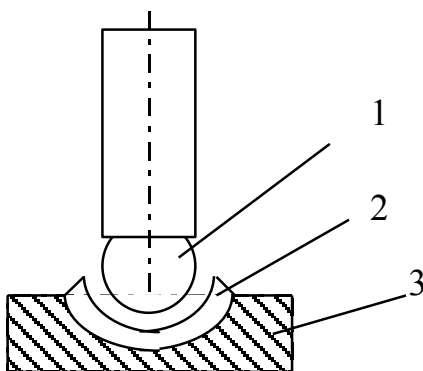


Рис.23. Схема выколотки: 1 - пуансон; 2 - листовая заготовка; 3 наковальня (анка)

Глубокую вытяжку иногда называют механизированной выколоткой, она выполняется с помощью прессового оборудования и штамповой оснастки.

Глубокая вытяжка осуществляется в двух вариантах: с прижимом и без него. В первом случае листовая заготовка по периметру фиксируется усилием прижима (рис.24). Пуансон воздействует на свободную поверхность заготовки, вытягивая стенки и донную часть получаемого стакана. Общая площадь поверхности заготовки при этом увеличивается,

что происходит за счет утонения стенки стакана. При вытяжке без прижима формирование стакана происходит за счет вовлечения периферийных слоев листа, и утонения стенки стакана практически не происходит.

Глубокая вытяжка является альтернативным процессом по отношению к технологии получения полых заготовок из листового материала путем сворачивания их в трубчатые профили и последующей пайки или сварки. Достоинством глубокой вытяжки является получение бесшовных конструкций.

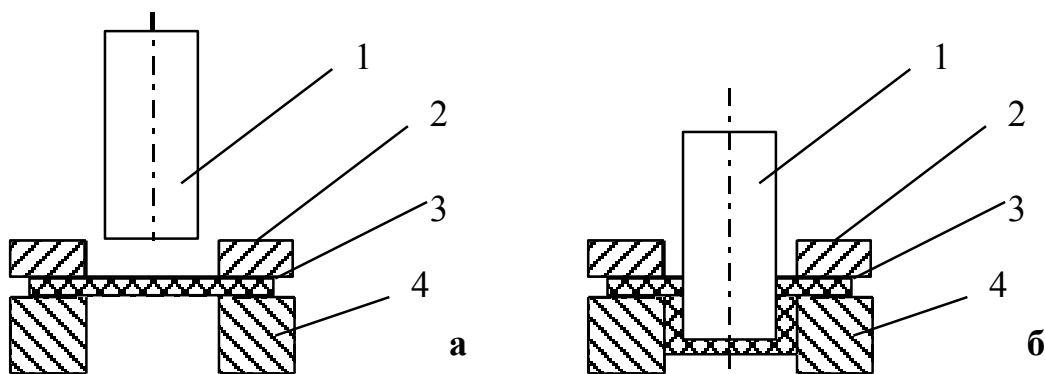


Рис.24. Схема глубокой вытяжки: а - положение до деформации; б - положение после деформации; 1 - пуансон; 2 - прижим; 3 - заготовка; 4 - матрица

10. ДАВИЛЬНЫЕ И ДАВИЛЬНО-РАСКАТНЫЕ ПРОЦЕССЫ

К особым видам обработки давлением относятся давяльные и давяльно-раскатные процессы, в том числе:

- * давяльные работы, выполняемые на давяльных станках;
- * давяльно-раскатные процессы, выполняемые на раскатных станках (ротационное выдавливание);

* отбортовочные, фланцезагибочные и кромкообрезные работы, выполняемые на специальных двухшпиндельных отбортовочных станках или специальных автоматах.

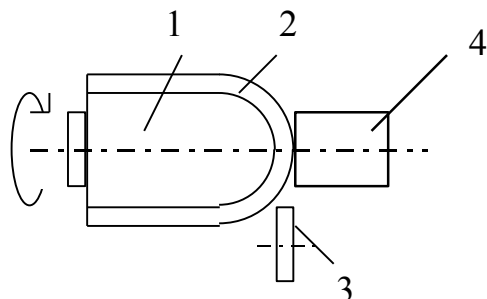


Рис.25. Схема ротационного выдавливания : 1 - оправка; 2 - листовая заготовка; 3 ролик; 4 - поджим

Принципиальная схема процесса показана на рис.25. Преимуществом способа деформации является возможность получения деталей иногда довольно сложной формы непосредственно из листовой заготовки при малых усилиях

деформации, поскольку очаг деформации ограничен локальной поверхностью воздействия ролика на листовую заготовку.

11. ПОЛУЧЕНИЕ СУСАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

Сусальным металлом называют фольгу из золота, его сплавов и некоторых других металлов толщиной 0,1...1 мкм, получаемой ковкой главным образом вручную.

Карточки фольги, разделенные прокладками, собирают в пакет,, пакет перекладывают в кожаную обойму, которую помещают на гранитную или мраморную наковальню, по обойме наносят удары молотком массой 2...8 кг, в результате происходит утонение (вытяжка) карточек. Прокладки изготавливают из оболочки слепой кишки, которые специально обрабатываются для придания целостности и рациональной эластичности

при нанесении по ним ударов. Прокладки не должны прилипать к вытягиваемым листам во избежание складкообразования.

Первый пакет формируют укладкой 160 карточек размером 0,03х25х25мм с прокладками в кожаную обойму. Ковку ведут молотком со сферическим бойком массой 8 кг при количестве ударов 1200 и времени 15...20 мин до толщины 0,002мм. После этого пакет разбирают, листы перекладывают папиросной бумагой по 10...12штук, разрезают на 4 квадрата, собирают вновь по 600 штук с прокладками и помещают в кожаную оболочку. При второй ковке используют молоток массой до 5 кг, количество ударов 2700 при времениковки до 1ч и получением толщины листа 0,0005 мм.

Листы перекладывают бумагой и нагревают под прессом до 60...80°C в течение 2ч до прекращения налипания золота к бумаге, режут на четыре квадрата и собирают три пакета из 1000 карточек.

При третьей ковке молотком 2,5 кг 8000 ударами в течение 3 ч через каждые 5 мин пакеты охлаждают, перекладывают, осторожно перегибают для отделения золота от прокладок, толщину доводят до 0,00014 мм. Пакет разбирают, режут, укладывают в книжки.

Выход годного по переделу составляет 50...60%.

По технологии сусального золота производят сусальное серебро, сусальный биметалл (золото + серебро), сусальные латуни.

12. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Термообработка применяется для улучшения технологических характеристик сплавов: повышения пластичности и снижения сопротивления деформации, а также для улучшения потребительских характеристик: твердости или износостойкости. В первом случае стремятся к получению металла в более мягком состоянии, во втором, наоборот, металл термообработкой упрочняют. В отличие от черных металлов

закалка сплавов цветных и благородных металлов приводит к понижению прочностных характеристики повышению пластических, после закалки проводят старение, в результате которого повышается твердость и прочность изделий (табл.4).

Таблица 4

Режимы термообработки сплавов золота

Сплав (проба)	Темпера- тура нагрева, °С	Условия охлажде- ния	Темпера- тура отпуска, °С	Время отпуска, мин	НВ до старения, МПа	НВ после старения, МПа
Au 750 желтый	750	Закалка	400	5	1040	1950
Au 750 розовый	750	Закалка	400	5	1050	2000
Au 585 желтый	750	Закалка	450	10	1300	2000
Au 585 красный	750	Закалка	300	15	950	1750
Au 333 желтый	650	Закалка	250	15	1170	1550
Au 585 розовый	650	Закалка	Не стареющий			

Нагрев открытым газовым пламенем возможен только для заготовок из материалов, не склонных к окислению, особенно внутреннему. Желательно применение защитных сред. Возможные варианты этих сред: вакуум, аммиак, неполностью сожженный природный газ, окись углерода. Последние три варианта позволяют осветлить поверхность изделий.

Возможно применение термообработки под слоем древесного угля, в расплаве солей, под слоем порошка борной кислоты.

В промышленности основной защитной средой для термообработки сплавов из золота является диссоциированный аммиак.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественно, что такое небольшое по объему учебное пособие не может обеспечить подробное описание всех тонкостей приемов, сопровождающих получение ювелирных изделий. Ювелирное дело вообще является довольно сложной совокупностью технологических хитростей, имеющих отношение к химии, механике, сварке, пайке, шлифованию, полированию металлов и неметаллов, нанесению покрытий, выращиванию поли- и монокристаллов и т.д. Здесь отражены процессы, имеющие отношение только к обработке металлов давлением.

Можно отметить, что отечественные предприятия, занятые изготовлением изделий из благородных металлов, постепенно обзаводятся новыми техникой и технологиями, в том числе и в области обработки металлов давлением. Следует упомянуть об удачных попытках использования методов гидроэкструзии для производства обручальных колец, применения радиальнойковки для получения прутков из литых заготовок из материалов с недостаточным уровнем пластических свойств, применения различных специализированных машин для изготовления цепочек, браслетов и т.д.

Сведения об этих процессах можно почерпнуть из специальной литературы.

Библиографический список

1. Brepohl Erhard. Theorie und praxis des goldschmieds. Veb. Fachbuchverlag. Leipzig, 1962. 384p.
2. Марченков В.И. Ювелирное дело. М.: Высшая школа., 1975. 192с.
3. Навроцкий А.Г. Художественная ковка. М.: Высшая школа, 1995. 127с.
4. Суворов И.К. Обработка металлов давлением.М.: Высшая школа. 1980. 364с.
5. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение. 1971. 782с.
6. Благородные металлы. Справочник. Под ред. Е.М.Ставицкого. М.: Металлургия, 1984. 592с.
7. Малышев В.М. Золото. М.: Металлургия, 1979. 286с.
8. Малышев В.М., Румянцев Д.В. Серебро. М.: Металлургия, 1976. 301с.
9. Полухин П.И., Гун Г.Я. Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1976. 488с.
10. ГОСТ Р51152-98. Сплавы на основе благородных металлов ювелирные. Марки. М.: Издательств стандартов. 1998. Введен с 01.01.99.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1

Химический состав отечественных сплавов на основе золота по ГОСТ

Р 51152-98 [10]

Марка	Au	Ag	Cu	Pt	Pd
ЗлСрМ375-20	37,5-38	1,7-2,3	Ост.		
ЗлСрМ375-100	37,5-38	9,5-10,5	Ост.		
ЗлСрМ375-160	37,5-38	15,5-16,5	Ост.		
ЗлСрМ375-250	37,5-38	24,5-25,5	Ост.		
ЗлСрПдМ375-160	37,5-38	1,7-2,3	Ост.		3,5-4,1
ЗлСрМ500-100	50,0-50,5	9,5-10,5	Ост.		
ЗлСр585-415	58,5-59,0	Ост.			
ЗлСр585-80	58,5-59,0	7,5-8,5	Ост.		
ЗлСр585-200	58,5-59,0	19,5-20,5	Ост.		
ЗлСр585-300	58,5-59,0	29,5-30,5	Ост.		
ЗлСрПд585-255-160	58,5-59,0	25,0-26,0			Ост.
ЗлСрПдЦ585-287-100	58,5-59,0	28,2-29,2		Zn ост	9,5-10,5
ЗлСрПдКд585-280-100	58,5-59,0	27,5-28,5		Cd ост	9,5-10,5
ЗлСрНЦМ585-80-8,2-2,5	58,5-59,0	7,5-8,5	Ост.	Ni7,7-8,7	Zn2,2-2,8
ЗлНЦМ585-12,5-4	58,5-59,0	Ni12,0-13,0	Ост.		Zn3,6-4,4
ЗлСр750-250	75,0-75,5	24,5-25,5			
ЗлСрМ750-125	75,0-75,5	12,0-13,0	Ост.		
ЗлСрМ750-150	75,0-75,5	14,5-15,5	Ост.		
ЗлСрНЦ750-150-7,5	75,0-75,5	14,5-15,5		Ni7,0-8,0	Zn ост.
ЗлСрПд750-100-150	75,0-75,5	9,5-10,5			Ост.
ЗлСрПлМ750-80-90	75,0-75,5	7,5-8,5	Ост.	8,5-9,5	
ЗлСрПдН750-70-140	75,0-75,5	6,5-7,5		Ni ост	13,5-14,5

ЗлСрПдН750-90-140	75,0-75,5	8,5-9,5		Ni ост	13,5-14,5
ЗлСрМ958-20	95,8-96,3	1,7-2,3	Ост.		
Зл999,9	95,9-99,9				

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2

Химический состав отечественных сплавов на основе серебра, платины и палладия по ГОСТ Р 51152-98 [10]

Марка	Ag	Cu	Pt	Pd
СрМ800	80,0-80,5	Ост.		
СрМ830	83,0-83,5	Ост.		
СрМ875	87,5,0-88,0	Ост.		
СрМ925	92,5-93,0	Ост.		
СрМ960	96,0-96,5	Ост.		
ПлИ900-100			90,0-90,5	Ir ост
ПлМ900		Ост.	90,0-90,5	
ПлИ950-50			95,0-95,5	Ir ост
ПлПд950-50			95,0-95,5	Ост.
ПлРд950-50			95,0-95,5	Rh ост.
ПлМ950		Ост.	95,0-95,5	
ПлСрН500-450	44,5-45,5	Ni ост		50,0-50,5
ПлСр850-130	12,5-13,5	Ni ост		85,0-85,5
ПдМ850	Ост.			85,0-85,5

СрМ800	80-80,5	Ост.		
СрМ830	83,0-83,5	Ост.		
СрМ875	87,5-88,0	Ост.		
СрМ925	92,5-93,0	Ост.		
СрМ960	96,0-96,5	Ост.		

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица ПЗ

Влияние температуры на механические свойства золота[6]

Температура, °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ, МПа
20	130	30	250
200			190
250	110	20	
400			160
500	70	15	120
600			80
750	40		50

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица П4

Влияние температуры на механические свойства серебра[6]

Температура, °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ, МПа
-196	220		
20	150	30	260
200			210
250	120	25	
400			180
500	80	20	140
600			100
750	45	17	60

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица П5

Влияние температуры на механические свойства платины чистотой
99,5%[6]

Температура, °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ, МПа
20	168	105	40
300	157	103	35
400	142	92	34
500	138	87	32
600	109	66	30
700	93	54	30
800	91	47	28
900	78	46	28

КРИВЫЕ УПРОЧНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

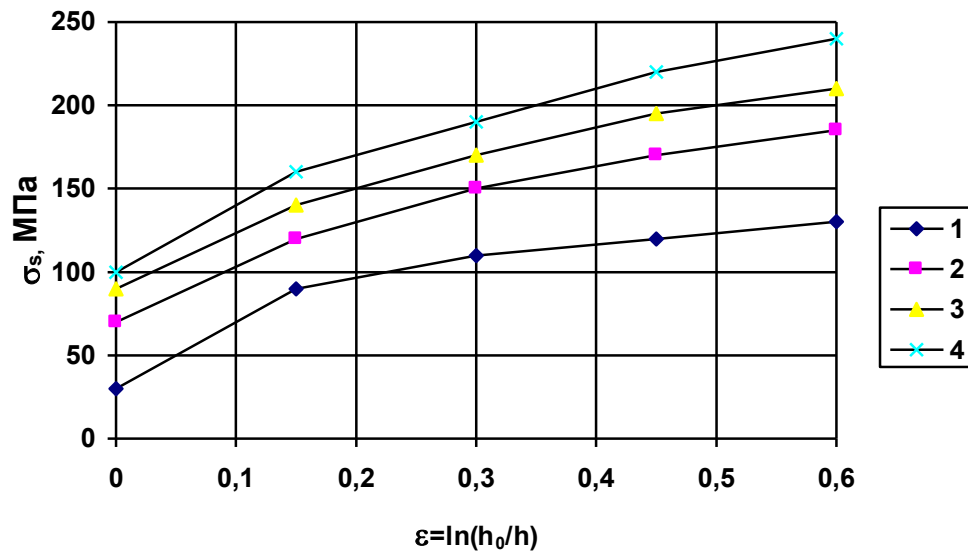


Рис.П1. Кривые деформационного упрочнения серебра (99,99%) при комнатной температуре и скорости деформации, 1/с: 1-0,0005; 2-3, 3-15; 4-50[9]

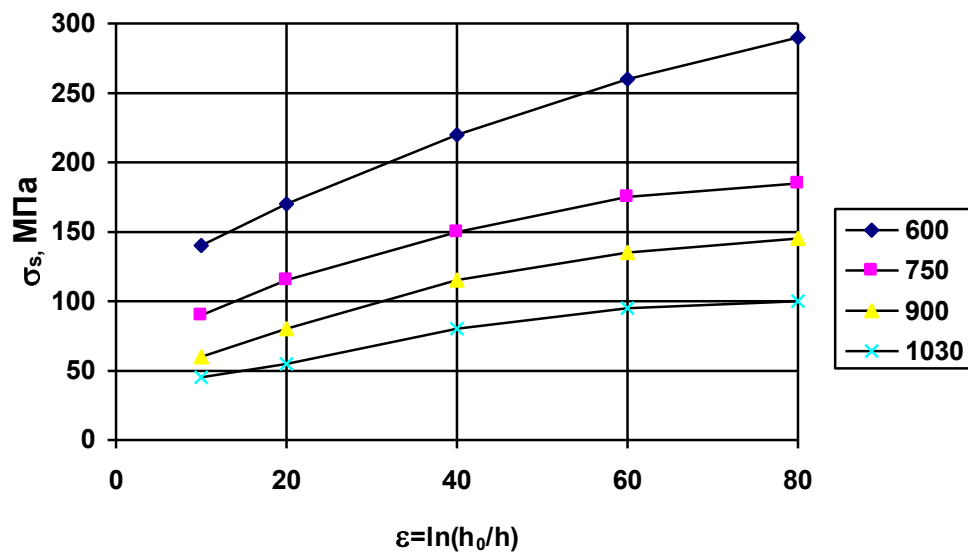


Рис.П2. Кривые деформационного упрочнения мельхиора МН19 при повышенной температуре(числа при кривых) и скорости деформации 18(1/с)[9]

АППРОКСИМАЦИИ КРИВЫХ УПРОЧНЕНИЯ

Таблица П6

Коэффициенты кривой упрочнения для сплавов серебра при комнатной температуре (аппроксимация автора по данным[8])

Сплав	Скорость деформации, 1/с	a, МПа	b, МПа	c	Максимальное отклонение, %
Ag	0,005	60	103	0,260	1,1
Ag	3	60	148	0,156	2,1
Ag	15	60	181	0,426	2,2
Ag	50	60	208	0,325	0,1
Ag+3%Cu	0,005	160	69,7	0,669	1,6
Ag+3%Cu	3	200	75,0	0,792	1,5
Ag+3%Cu	15	200	86,8	0,462	1,2
Ag+3%Cu	50	200	113	0,429	1,4
Ag+10%Cu	0,005	210	69,4	0,628	0,4
Ag+10%Cu	3	240	117	0,113	0,5
Ag+10%Cu	15	240	166	0,215	0,7
Ag+10%Cu	50	240	180	0,147	1,2

Примечание. Степень деформации логарифмическая, пределы 0...0,6, аппроксимирующая формула $\sigma_s = a + b * \bar{\epsilon}^c$

Таблица П7

Коэффициенты кривой упрочнения для сплавов золота (аппроксимация автора по данным [9])

Сплав	t, °C	Скорость деформации, 1/с	a, МПа	b, МПа	c
ЗлСрМ583-80	20	1	360	37,5	0,825
ЗлСрМ583-80	20	10	360	40,1	0,798
ЗлСрМ583-80	20	50	360	41,5	0,683
ЗлСрМ583-80	100	1	350	33,5	0,672
ЗлСрМ583-80	100	10	350	37,3	0,679
ЗлСрМ583-80	100	50	350	38,6	0,634
ЗлСрМ583-80	200	1	290	35,8	0,950
ЗлСрМ583-80	200	10	300	34,7	0,804
ЗлСрМ583-80	200	50	320	34,8	0,792
ЗлСрМ583-80	400	1	280	29,5	0,609
ЗлСрМ583-80	400	10	290	33,3	0,657
ЗлСрМ583-80	400	50	320	37,3	0,668

ЗлСрМ583-80	500	1	150	34,9	0,927
ЗлСрМ583-80	500	10	170	28,4	0,568
ЗлСрМ583-80	500	50	170	33,7	0,593
ЗлСрПдМ375-100-38	20	1	320	34,7	0,804
ЗлСрПдМ375-100-38	20	10	330	36,7	0,790
ЗлСрПдМ375-100-38	20	50	340	37,0	0,737
ЗлСрПдМ375-100-38	100	1	280	29,4	0,599
ЗлСрПдМ375-100-38	100	10	290	35,7	0,848
ЗлСрПдМ375-100-38	100	50	300	36,7	0,790
ЗлСрПдМ375-100-38	200	1	270	32,5	0,809
ЗлСрПдМ375-100-38	200	10	290	33,7	0,757
ЗлСрПдМ375-100-38	200	50	290	35,7	0,848
ЗлСрПдМ375-100-38	300	1	290	32,5	0,810
ЗлСрПдМ375-100-38	300	10	300	32,5	0,810
ЗлСрПдМ375-100-38	300	50	320	33,3	0,843
ЗлСрПдМ375-100-38	400	1	220	32,8	0,725
ЗлСрПдМ375-100-38	400	10	240	35,7	0,827
ЗлСрПдМ375-100-38	400	50	250	38,4	0,886
ЗлСрПдМ375-100-38	500	1	140	26,4	0,657
ЗлСрПдМ375-100-38	500	10	150	35,7	0,810
ЗлСрПдМ375-100-38	500	50	170	32,8	0,725

Примечание. Степень деформации логарифмическая, пределы 0...0,4, аппроксимирующая формула $\sigma_s = a + b * \bar{\varepsilon}^c$

Таблица П8

Коэффициенты кривой упрочнения для мельхиора, нейзильбера и томпак - латуни при горячей деформации (данные М.Я.Бровмана)

Сплав	t, °C	σ_{s0} , МПа	n	m	s
МНЖМц-30-0,8-1	900-1100	1250	0,40	0,11	0,0035
МНЦ-15-20	600-950	3250	0,50	0,15	0,0040
Томпак Л90	450-950	750	0,4	0,11	0,0030

Примечание. Аппроксимирующая формула

$\sigma_s = \sigma_{s0} * \varepsilon^n * \xi^m * \exp(-s * t)$, где t - температура в градусах Цельсия, ξ - скорость деформации в с⁻¹, ε - степень деформации, доли единицы.

Таблица П9

Коэффициенты кривой упрочнения для мельхиора и томпак - латуни при холодной деформации

Сплав	σ_{s0} , МПа	n, МПа	m
МН19	130	93	0,34
Томпак Л90	$\sigma_{сисх}$	58	0,42

Примечание. Аппроксимирующая формула $\sigma_s = \sigma_{s0} + n * \varepsilon^m$, где ε - степень деформации, %, $\sigma_{сисх}$ - исходный предел текучести (в отожденном состоянии)

ПРИЛОЖЕНИЕ П8

Формулы для расчета скорости деформации в различных процессах обработки металлов давлением

Наименование процесса	Формула	Обозначения
Листовая прокатка	$\xi = \frac{v * \Delta h}{l * h_0}$	v - скорость прокатки; Δh - обжатие; l - длина очага деформации; h_0 - начальная толщина
Сортовая прокатка	$\xi = k * \frac{v * \Delta h}{l * h_0}$	k = 1,5 для ромбических и квадратных калибров и k=1,33 для овальных калибров
Волочение и прессование	$\xi = \frac{6 * v_1 * \ln \lambda * \operatorname{tg} \varphi}{(\lambda * \sqrt{\lambda} - 1) * d_1}$	v_1 - скорость выхода металла из инструмента; φ - угол конусности матрицы (волоки); λ - коэффициент вытяжки; d_1 - диаметр изделия на выходе из инструмента

Юрий Николаевич Логинов

Процессы обработки металлов давлением в ювелирном деле

Редактор издательства *В.П.Вовчек*

Корректор О.С.Смирнова

ЛР №020315 от 23.12.1996 г.

Подписано в печать 12.05.98

Формат 60x84 1/16

Бумага писчая

Печать офсетная

Усл. печ. л. 3,2

Уч. изд. л. 2,3

Тираж 100

Заказ 20

Цена "С"

Ризография НИЧ УГТУ
620002, Екатеринбург, ул.Мира, 19